

ジェットミルの微粉碎確率
— 自生粉碎に伴う優先選択微粉碎性能について —

本 間 寅二郎

工学部物質工学科

The Grinding Probability in Jet Milling.

— Some Possibilities of Preferential Selective Pulverization
Accompanied by Autogenous Grinding —

Torajiro HONMA

Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering

(平成3年9月2日受理)

Abstract

Considering that the mechanism of jet milling is based on the autogenous grinding due to impact and abrasion between feed particles, the grinding probability in jet milling was found to be influenced significantly by unique elasticity property of feed particles. A experimental equation for grinding probability was derived by uses of a constant based on elasticity property of particles and the particle velocity in jet stream as factors. The validity of this equation was proved experimentally by using artificial sample and natural ore. Furthermore, some possibilities of preferential selective pulverization in jet milling were discussed.

1. まえがき

高速気流を利用したいわゆるジェット粉砕法は、古くから考案されており、Berry¹⁾、Perry²⁾、亀井³⁾らにより紹介されてから、Rumpf⁴⁾⁵⁾らの理論的解析、神保ら⁶⁾⁷⁾の処理量と所要動力との関連性、本間ら⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾の粉砕速度に関する実験式の導出、さらには Ramanujam¹¹⁾や Dotson¹²⁾による実規模試験など数多くの研究が見られるが、その微粉碎過程における粉砕機構に関しては、未だ充分解明されていない。

ジェットミル内における微粉碎のメカニズムは既往の研究成果や筆者を通じた知見、さらにはミル構造上の観点から考察すると、砕料粒子相互間の衝撃および摩耗作用が主体であると仮定するこ

とができる。すなわちミル内粒子の破壊現象は、粒子同志が高速で衝突あるいは摩擦現象を起こし、粒子固有の弾性学的性質によって、設定粒度以下に破壊される確率が支配的であると考えられ、いわゆる自生粉砕の一種に属する粉砕機構を示す。しかるに従来の研究は、装置設計上の資料を得るための基礎研究や、微粉碎の効果を追求するものが主体で、これら砕料の弾性学的性質に基づく粉砕確率に関する研究は見当たらない。

以上の観点から、本研究においては、砕料の弾性学的性質に基づく微粉碎機構について理論的考察を行うとともに、粉砕確率と優先微粉碎性との関連についても実験的検討を加え、さらにその応用として、鉄鉱石および粘土鉱物の優先微粉碎に

も適用したもので、ここにその一部を報告する。

2. 砕料固体粒子の弾性学, 塑性学的性質に基づく粉碎確率

2.1 概説

高速ジェット気流による理想的な粉粒体の粉碎確率について、弾性学および塑性学を基礎とする立場から考察してみたい。

ジェットミルの構造上から、その微粉碎機構は砕料粒子相互間の衝突および摩耗が主体であると仮定することができるので、次の2点について検討すべきである¹³⁾。すなわち、i) 粒子同志の接触あるいは衝突する確率はどうか。ii) 粒子同志が接触あるいは衝突しても、破壊するまでに至る応力が生ずるかどうか、という2点である。

ジェット粉碎において、ミル内粒子相互間に接触あるいは衝突がなければ破壊現象は起こらないのであるから、その確率を P_c とすれば、粒子同志全部接触すれば $P_c = 1$ 、接触しなければ $P_c = 0$ となる。

つぎに、接触あるいは衝突しても破壊に至るかどうかの確率を P_σ とすれば、粉碎確率 P は、

$$P = P_c \cdot P_\sigma \quad (1)$$

となる。

2.2 衝突確率

衝突確率 P_c については、慣性集塵などで引用される分離数と衝突効率との関係から推定されるが、ジェットミルにおいては、粒子の速度も大であるので、接触確率 P_1 と、接触したうちで正面衝突あるいはそれに近い状態の場合の確率 P_2 に分けて考察してみる。

粒子相互間に接触が起こるための条件として、粒子の平均自由行程が充分小さくしなければならず、これに関して Rumpf¹⁴⁾はつぎの式を与えている。

$$\lambda = d_p / 10 \cdot (1 - \epsilon) \quad (2)$$

ここで、 λ = 平均自由行程、 d_p = 粒子径、 ϵ = 粒子濃度である。

粒子の接触が起こるためには、粒子が1回の気流を受けて飛び得る距離が、平均自由行程を大きく上まわらなければならない。粒子が初速 v_0 で放

り出されたとき、速度の2乗に比例する空気抵抗を受けて減速し、ついには $v = 0$ となるが、それまでに飛び得る距離 S_0 は

$$S_0 = \frac{d_p^2 \rho v_0}{18 \eta} \quad (3)$$

ここで、 ρ = 粒子密度、 η = 空気の粘度である。

(2)および(3)式より、1個の粒子がミル内で他の粒子に接触する確率 P_1 は

$$P_1 = \left(1 - \frac{\lambda}{S_0}\right)^{k_1} = \left\{1 - \frac{1.8 \eta (1 - \epsilon)}{d_p v_0 \rho}\right\}^{k_1} \quad (4)$$

つぎに粒子を球と仮定し、接触した2個の粒子の中心線と、粒子の運動方向とのなす角を α とすれば、平面上における接触の方向的な確率は、ほぼ $1 - \cos^2 \alpha$ で表される¹⁵⁾。この α が0に近づいたときが正面衝突と考えられるから

$$P_2 = 1 - \cos^2 \alpha = 0.1 \quad (5)$$

(4)、(5)より、粒子の正面衝突の確率は

$$P_c = P_1 \cdot P_2 = \left\{1 - \frac{1.8 \eta (1 - \epsilon)}{d_p v_0 \rho}\right\}^{k_1} \cdot 10^{-1} \quad (6)$$

となる。

2.3 破壊確率

粒子相互間に衝突が生じてても、必ずしも破壊が起こるとは限らない。衝突によって生じる弾性応力波が、粒子のもつ破壊強度以上であることが必要である。

ここで、破壊の起こる確率を P_σ とすれば

$$P_\sigma = \left(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_m}\right)^{k_2} \quad (7)$$

σ_a = 粒子の固体強度、 σ_m = 衝突によって固体内に発生する弾性応力、 k_2 = 粒子形状に支配される定数である。 $\sigma_m = \sigma_a$ なら $P_\sigma = 0$ で破壊は起こらない。破壊が起こるためには $\sigma_m > \sigma_a$ なる条件が必要であり、 $\sigma_m > \sigma_a$ なら $P_\sigma \rightarrow 1$ となり、必ず破壊は起こる。

σ_a については、理論的強度として次式がある¹⁶⁾。

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\gamma \cdot Y}{a}} \quad (8)$$

この理論強度の値は、実際の引張り強度に対して100～1000倍に達すると言われ、岩石のような脆性材料の実験値と、この理論値との大きな差を説明するために、Griffithはクラック説を提唱している¹⁷⁾。

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\gamma \cdot Y}{C}} \quad (9)$$

ここで、Y=材料のヤング率、 γ =固体の表面エネルギー、 a =原子間の距離、 C =クラックの長さである。砕料の対象となる脆性材料に対しては、このGriffithのクラック説が当てはまると考えられるから、(9)式が適用できる。

つぎに粒子同志が衝突によって衝撃を受けると、その中心部から弾性波が伝播し、それに伴い応力の移動が起こり、クラックに応力が集中して破壊現象につながる¹⁸⁾、この際発生する応力については、次に示すHertzの式¹⁹⁾がある。

ここで、 m_1 、 m_2 =粒子の質量、 ν =衝突速度、

$$\sigma_m \propto \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{1/5} \cdot \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} \right)^{3/5} \cdot \left(\frac{1 - \nu_1^2}{Y_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{Y_2} \right)^{-4/5} \cdot \nu^{2/5} \quad (10)$$

γ_1 、 γ_2 =衝突点における曲率半径、 Y_1 、 Y_2 =材料のヤング率、 ν_1 、 ν_2 =ポアソン比である。

ジェットミル粉碎に際して、予め調整された粒子同志の衝突と仮定すれば、 $m_1 = m_2 = m$ 、正面衝突と考えれば $\gamma_1 = \gamma_2 = d_p/2$ 、同種の粒子の弾性学的性質は一定であるから $Y_1 = Y_2 = Y$ 、 $\nu_1 = \nu_2 = \nu$ として、上式を整理すれば、

$$\begin{aligned} \sigma_m &\propto \rho^{1/5} \cdot (d_p/2)^{3/5} \cdot (d_p/2)^{-3/5} \cdot \\ &\quad [(1 - \nu^2)/Y]^{-4/5} \cdot \nu^{2/5} \\ &\propto \rho^{1/5} \cdot Y^{4/5} \cdot \nu^{-8/5} \cdot \nu^{2/5} \end{aligned} \quad (11)$$

となり、ここで(7)の式の σ_a/σ_m は、

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_a}{\sigma_m} &= \sqrt{\frac{\gamma Y / C}{\rho^{1/5} \cdot Y^{4/5} \cdot \nu^{-8/5} \cdot \nu^{2/5}}} \\ &= C^{-1/2} \cdot Y^{-3/10} \cdot \nu^{8/5} \cdot \gamma^{1/2} \cdot \\ &\quad \rho^{-1/5} \cdot \nu^{-2/5} \end{aligned} \quad (12)$$

となり、弾性学的性質を表す常数をEでまとめれば(7)式は、

$$P_a = (1 - E \nu^{-2/5})^{k_2} \quad (13)$$

となり、破壊の確率は、粒子の弾性学的性質に基づく常数と、粒子の衝突速度の関数として表すことができる。

したがって、ジェットミルの微粉碎確率は(6)および(13)式より

$$P = \left\{ 1 - \frac{1.8 \eta (1 - \epsilon)}{d_p \nu_0 \rho} \right\}^{k_1} \cdot (1 - E \nu^{-2/5})^{k_2} \cdot 10^{-1} \quad (14)$$

となる。

3. 実験装置および供試試料

実験に用いたジェット粉碎機の詳細図は、Fig. 1に示すとおりである。

図より、粉碎機の内部は直径123mm、深さ15mmのほぼ平たい円筒形をなしており、底面と頂面とが中心部に向かって深くなるようにゆるく傾斜している。その中に直径100mm、高さ20mm、厚さ10mmのノズルリング②があり、このリングの周囲に、粉碎室①に向かってFig. 1. Bに示すように、一定方向をなす5つのノズル口があり、これにノズル③を組み入れることができる。ノズルからの気流の噴射方向は矢印で示すように、接線方向とほぼ50°の傾きをもち、内壁との直接の衝突をできるだけ少なくし、気流の循環をよくするよう設計したものである。

空気流入口④から入った圧縮空気は、ノズルリングの外側にあるマニホールド⑤に入り、圧力を保ちながらノズルを経て粉碎室内へ噴射される。

供給部は、底面直径100mm、高さ100mmの円錐状の供給ホッパー⑥と、その下部に設けられた最狭部の直径2.0mmのフィードノズル⑦、および直径5.0mmのディフューザ⑧からなり、このディフューザは粉碎室を構成する上部蓋に直結され、粉碎室底面と27°の傾斜をなしている。

粉碎室中央部には、内径42mmの溢流口があり、その上部は底面と120°の傾斜をもつ分級筒⑩となり、上部蓋の中央下部に設けられた分級用突起⑪との組み合わせにより、分級効果をもたらすものである。

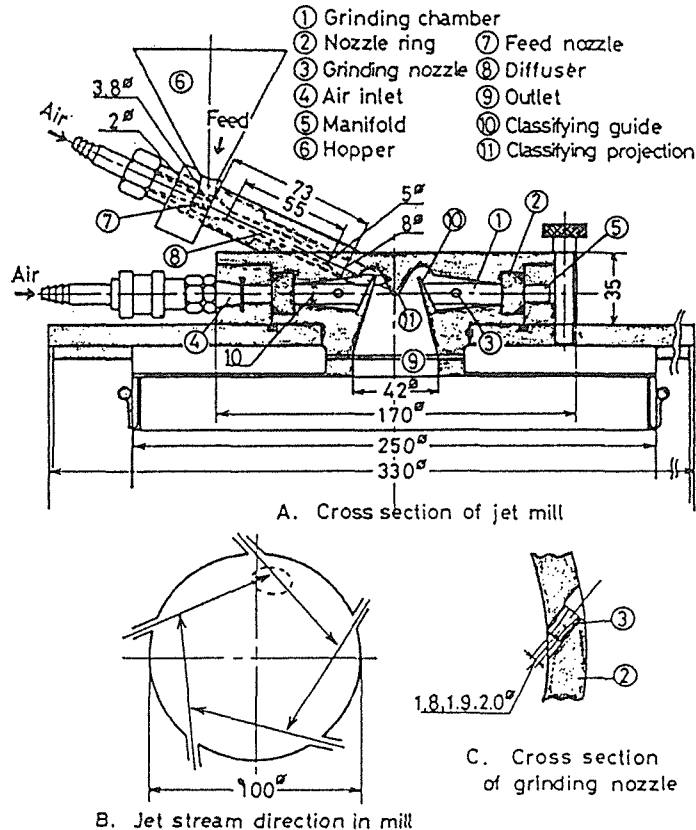


Fig.1 Details of jet mill.

供給された砕料は、Fig. 1. Bの破線で示す位置で粉碎室底部と接触し、ここでノズルから噴射されるジェット気流によりさらに加速され、相互衝突および摩耗、さらには内壁への衝突の繰り返しによって微粉化が促進され、遠心力の差によってより細かいものから中心部に集められて、中央の分級筒によって分級され、溢流する構造になっている。

Fig. 1. Cは、ノズル口およびノズルの詳細図で、ノズル開口部と、のど部との直径差は0.3mmである。

実験装置の概略をFig. 2に示す。①のコンプレッサで圧縮された空気は、②のメインラインフィルタ、③のミストセパレータおよび④のマイクロミストセパレータを通り、十分に除塵、除湿されたのち、⑤の流量計により流量を測定され、調節弁により圧力を調整、測定されて粉碎室内部に入る。

一方砕料は、⑧の振動フィーダで供給速度を調節されたのち、ホッパー⑨に供給され、ホッパー内に留まることなく、インジェクタノズル近傍に起こ

る負圧によりミル内に供給される。粉碎された粒子は空気とともに排出され、⑩のバグフィルタにより捕集された後、⑪の容器に貯えられる。

粉碎実験に供した試料は、ガラス、ケイ石、黄銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、黒鉱、石炭の8種で、これら試料の主成分、密度、ハードグロブ指数をTable 1に示す。

4. 実験結果とその考察

4.1 ノズル圧と粉碎確率

前節の(7)式を書き直すと(15)式となる

$$1 - P_{k_2}^{\frac{1}{k_2}} = \sigma_a / \sigma_m \quad (15)$$

(15)式における指数 k_2 については、砕料物性に関係なく経験に基づくものとされており、田中²¹⁾は方解石の高速衝撃実験結果から、 $k_2=1.6$ が適合するとしている。そこで本研究においても $k_2=1.6$ を採用して実験結果を整理してみた。粉碎産物の着目粒径 $d_p(\mu m)$ 以下の積算重量割合を粉碎確率 P

〔－〕とし、 $1 - P_{k_2}^{\frac{1}{\beta}}$ と無次元ノズル圧 $P - P_{\min} / P_{\min}$ との関係を、 $d_p = 15 \mu\text{m}$ について、片対数紙上にプロットし、ガラスおよびケイ石、石炭を例にとると、Fig. 3およびFig. 4に示すとおりである。ここで P はノズル圧、 P_{\min} は粉碎最小ノズル圧である。

Fig. 3はガラスおよびケイ石の場合で、ガラスにおいてはノズル圧が4～6 [Kg/cm²]の範囲内、ケイ石においては3～6 [Kg/cm²]の範囲内において直線関係が得られ、(15)式は成立するが、ガラスの $P < 4$ [Kg/cm²]の条件およびケイ石の $P < 3$ [Kg/cm²]の条件では、 $1 - P_{k_2}^{\frac{1}{\beta}} > 1$ となり、(15)式は満足せず、

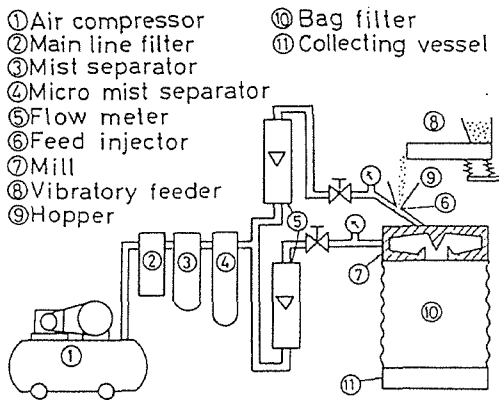


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Properties of sample used.

Sample	Main comp.	Density ρ_p [g/cm ³]	Hard. grind. Hd[－]
Glass	Na ₂ O·CaO·6SiO ₂	2.52	28
Silica stone	SiO ₂	2.26	38
Galena	PbS	7.51	102
Chalco pyrite	Cu·FeS ₂	4.16	85
Zinc blend	ZnS	3.98	91
Pyrite	FeS ₂	4.90	63
Brack ore	PbS·CuFeS ₂ ·ZnS ·FeS ₂ ·CaSO ₄	4.55	89
Coal		1.32	106

したがって $15(\mu\text{m})$ 以下の粉碎産物は存在しないことになる。

Fig. 4は石炭を砕料とした場合の無次元ノズル圧と $1 - P_{k_2}^{\frac{1}{\beta}}$ の関係を示し、ノズル圧が2～6 [Kg/cm²]の範囲内において直線関係がみられ、他の試料についても同様の結果が得られた。なお、各ノズルについてはばらつきがみられるのは、供給粒径 d_i の影響である。

以上の実験結果から、いずれの砕料についても次式が成立する。

$$1 - P_{k_2}^{\frac{1}{\beta}} = K_c \left[\exp \left(\frac{P - P_{\min}}{P_{\min}} \right) \right]^{\beta} \quad (16)$$

ここで、 β はノズル圧に関する指数で、一定の値

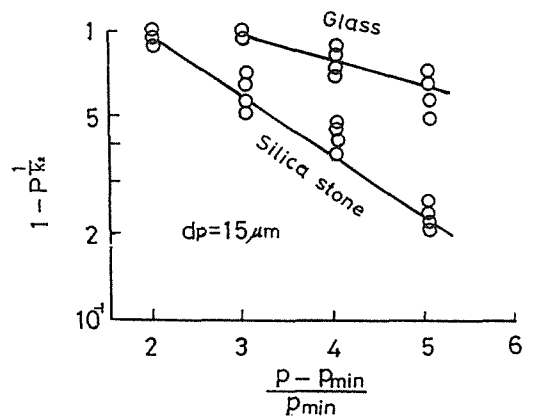


Fig. 3 Relationship between grinding probability and nozzle pressure (1).

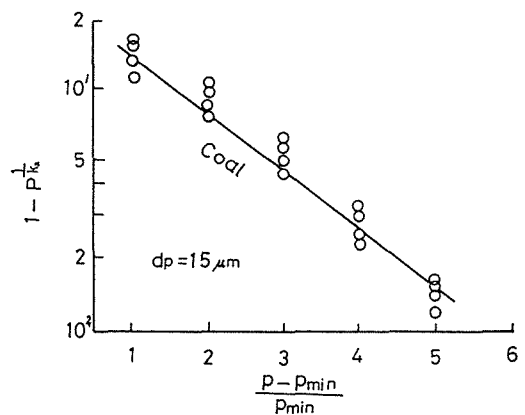


Fig. 4 Relationship between grinding probability and nozzle pressure (2).

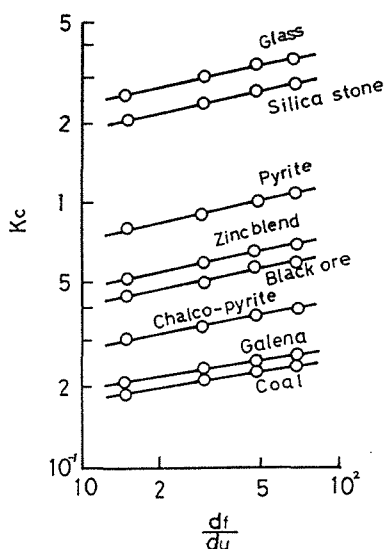


Fig. 5 Relationship between K_c and feed size.

をもつが、常数 K_c は供給粒度によって支配されるときと考えられるから、各粒度における実測値を外挿し、無次元ノズル圧が0における切片から K_c を求め、 K_c と無次元供給粒度 d_f/d_u との関係を両対数紙上に示すと、Fig. 5 のようにいずれも平行な直線となり、(17)式が成立する。

$$K_c = K_s \left(\frac{d_f}{d_u} \right)^\alpha \quad (17)$$

ここで、 d_f は供給粒度、 d_u は産物溢流上限粒度である。

(16), (17)式より、つぎの粉碎確率に関する実験式が得られた。

$$P = \left\{ 1 - K_s \left(\frac{d_f}{d_u} \right)^\alpha \cdot \left[\exp \left(\frac{P - P_{\min}}{P_{\min}} \right) \right]^\beta \right\}^{k_2} \quad (18)$$

ここで K_s は、各碎料についての固体物性にかかわる常数であり、粉碎確率を左右する重要な因子と考えられ、 K_s が小さいほど粉碎確率は高くなる。

実験結果から求めた各試料についての K_s の値を Table 2 に示す。

ジェット粉碎においては、粒子の衝突速度はジェット気流に支配され、かつノズル口径が一定ならば、ジェット気流速度はノズル圧に關係するものであ

Table 2 Experimental values of K_s , α , β .

	K_s	α	β
Glass	1.40	0.2	-0.50
Silica stone	1.10	0.2	-0.50
Galena	0.11	0.2	-0.70
Chalco pyrite	0.16	0.2	-0.70
Zinc blend	0.28	0.2	-0.70
Pyrite	0.41	0.2	-0.70
Brack ore	0.22	0.2	-0.70
Coal	0.11	0.2	-0.70

るから、本実験から求めた(18)式と(13)式との間には

$$\left[\exp \left(\frac{P - P_{\min}}{P_{\min}} \right) \right]^\beta \equiv \nu^{-2/5} \quad (19)$$

$$K_s \equiv E = K_P \cdot C^{-1/2} \cdot Y^{-3/10} \cdot \nu^{8/5} \cdot \gamma^{1/2} \cdot \rho^{-1/5} \quad (20)$$

の関連性があるものと考えられる。なお粒子の衝突確率 P_c については、ミルの構造および実験結果から

$$P_c = \left\{ 1 - \frac{1.8\eta(1-\varepsilon)}{d_p \nu_0 \rho} \right\}^k \cdot 10^{-1} \div 1 \quad (21)$$

と仮定した。

Fig. 6 は、(18)式からの計算値と実験値を整理したものであるが、若干のばらつきはあるがほぼ傾きは1となり、実験式としての妥当性を示している。

4.2 混合粉碎による優先微粉碎効果

ジェットミルの優先微粉碎性能を検討するため、試料としてケイ石および石炭の1:1の混合試料を $2.380 \sim 1.680 \mu\text{m}$ に調整し、ノズル圧 $2 [\text{Kg}/\text{cm}^2]$ および $3 [\text{Kg}/\text{cm}^2]$ の条件で粉碎試験を行った結果を Fig. 7 に示す。この図は、混合粉碎した後の溢流産物とミル内滞留産物を、104, 63, 44, 38, 32, 20, $15 \mu\text{m}$ でふるい分けを行い、それぞれの粒群の発熱量を測定して、石炭中のケイ石の混入率を求め、

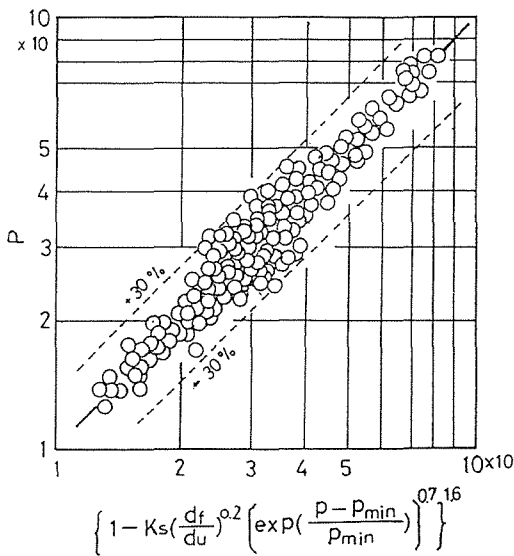


Fig. 6 Comparison of calculated and observed grinding probability.

部分分離曲線で示したものであり、曲線は標準のS型に近く、石炭が優先的に微粉碎されていることを示している。ノズル圧2 [Kg/cm²]と3 [Kg/cm²]において分離粒径は38 μmおよび42 μmが得られるが、これは気流速度と分離限界粒度との関係から妥当な結果である。ケイ石の石英への混入割合は、3 [Kg/cm²]の場合の方がやや多くなっているが、これはケイ石の表面摩耗作用によって生成される微粉が、石炭中に混入したものとみなされ、圧力が高くなるにつれて増加したものと考えられる。一方2 [Kg/cm²]の場合は、石炭が未粉碎粒子として、ケイ石中に混入している傾向が強い。いずれにしても、石炭とケイ石の混合粉碎において、石炭の優先微粉碎は十分可能であるとの見通しが得られた。

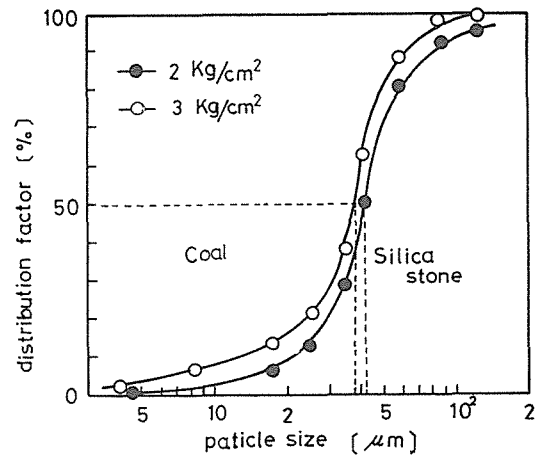


Fig. 7 Pertition curve of grinding result of coal-silica stone mixture.

4.3 ラテライト鉱の優先微粉碎²⁰⁾

ジェット粉碎における優先微粉碎の応用例として、ラテライト鉱からクロム鉱の選別試験を行った。

ラテライト原鉱はフィリピン産の粉粒状のもので、その主成分は、含鉄鉱物、含ニッケル鉱物、含クロム鉱物、含アルミ鉱物で、このうち含クロム鉱物がとくに粉碎性が悪いことが知られている。本実験においては、クロム鉱以外の成分鉱物を優先微粉碎し、クロム鉱の分離すなわち脱クロムを目的としたものである。実験結果はTable 3に示すように、ノズル圧3 [Kg/cm²]の条件下において、原鉱のクロム品位を1.89%から10.30%まで高め、かつ脱クロム率は74.1%となっている。これを従来の磁力選別法と比較すると²¹⁾、脱クロム率ではわずか4.1%の向上であるが、クロム鉱中への鉄の分布率は、従来の25%から6.9%と減少しており、

Table 3 Grinding result for lateriti ore.

Comp. Product	Cr%			Fe%		Ni%		SiO ₂ %	
	Weight %	Grade %	Recovery %	Grade %	Recovery %	Grade %	Recovery %	Grade %	Recovery %
Feed	100.0	1.89	100.0	41.0	100.0	0.88	100.0	8.5	100.0
Under flow prod.	13.6	10.30	74.1	20.7	6.9	0.31	4.5	16.8	27.0
Over flow prod.	86.4	0.57	25.9	44.2	93.1	0.97	95.5	7.1	73.0

優先微粉碎による選別効果が十分に認められた。

4.4 粘土鉱物からカオリナイトの回収²²⁾

カオリン鉱物は従来から粉碎性のよいことで知られており、この性質を利用して、ジェットミルの自生粉碎による粘土鉱物からカオリナイトの優先微粉碎試験を行なった。

試料に用いた粘土鉱物は、岐阜県山岡町から産する通称蛙目粘土で、その主成分は、ケイ砂、長石、カオリン鉱物、雲母などで、カオリン鉱物はカオリナイトの純粋度および粒度組成などにより、陶磁器原料としての価値性が高くなるものである²³⁾。従来の選鉱法としては、水中アトリション法により解砕し、水ひ分級法を用いてカオリナイトの回収を行っているが、使用水量、操業時間、人件費などに問題があり、また中間産物は白濁水として河川汚濁の原因ともなっており、乾式処理の可能性が検討されている。

ジェット粉碎による優先微粉碎試験結果はTable 4に示す通りで、ノズル圧3 Kg/cm²の条件で、ミルからの溢流粉碎産物の歩留は25.7%、粒径は3 μm以下94.8%である。この溢流産物をX線分析した結果、ほぼ完全なカオリナイトであることも判明した。またTable 4から、現行の特級原料規格と比較してもすべて基準内にあり、従来法と比較

して歩留でわずか2.7%の向上であるが、粒径の上から価値性は相当向上しているものと考えられる。

以上のように、ジェットミルは、人工的混合試料のみでなく、ラテライト鉱や粘土鉱物のように、異質成分から構成されている天然の鉱石類を対象とした場合でも、その構成成分の被粉碎性に差があれば、優先選択微粉碎は十分可能であり、分級、選別の操作を同時に用い得る性能を有することが明らかとなった。

5. 結言

ジェット粉碎の微粉碎機構は、砕料粒子相互の衝撃や摩耗による自生粉碎が主体であり、したがってその微粉碎確率は、砕料粒子のもつ弾性学的性質に大きく支配されとの仮定から、粉碎確率に関して理論的考察を行うとともに、優先微粉碎との関連性について実験的検討を行い、次の結論を得た。

1) 粉碎確率に関する実験式として、次の式を導出した。

$$P = \left\{ 1 - K_s \left(\frac{d_t}{d_u} \right)^a \cdot \left[\exp \left(\frac{P - P_{\min}}{P_{\min}} \right) \right]^\beta \right\}^{k_2}$$

2) 粉碎確率は砕料粒子の弾性学的性質に基づく定数により大きく支配されるから、構成粒子の粉碎性に差があれば、優先選択微粉碎も十分可能であるとの知見を得た。

3) 粉碎性の異なるケイ石および石炭の混合試料による粉碎試験の結果、石炭の優先微粉碎は可能であるとの見通しを得た。

4) ラテライト鉱や粘土鉱物のように、異質成分から構成されている天然の鉱石類を対象とした場合でも、その構成成分粒子に弾性学的性質の差があれば、優先選択微粉碎は可能であり、ジェットミルは、微粉碎機としての作用のみでなく、分級、選別の操作を同時にに行い得る性能を有することが確認された。

Table 4 Grinding result for clay ore.

	Feed	Grinding product	Superfine standard
Size	-590 μm	-3 μm 94.8%	-5 μm 85%
Fe ₂ O ₃	1.13%	1.42%	< 1.5%
SiO ₂	71.6%	47.9%	< 50%
Al ₂ O ₃	17.6%	34.6%	> 32%
Na ₂ O	0.21%	0.12%	< 0.6%
K ₂ O	1.52%	0.39%	< 1.5%
Ig.Loss	5.8%	13.39%	14.00 ±
Fire proof	——	SK35	SK35 ±
Yield	100%	25.7	Customary 23%

使用記号

a	原子間距離〔 μm 〕	(1960)335.
c	クラックの長さ〔 μm 〕	6) 森 芳郎, 神保元二: 化学工学, Vol.22, (1958)363.
d_p	着目粒径〔 μm 〕	7) 森 芳郎, 神保元二: 化学工学, Vol.25, (1961)477.
d_f	供給粒径〔 μm 〕	8) 本間寅二郎 他: 公資集報, Vol.2, (1972)55.
d_u	ジェットミルからの溢流分離粒径〔 μm 〕	9) 本間寅二郎 他: 山大紀要(工学), Vol.16, (1981)271.
E	(13)式における弾性学的定数〔m/s〕 ^{2/3}	10) 本間寅二郎 他: 山大紀要(工学), Vol.17, (1982)1.
K_c	(16)式における定数〔-〕	11) M.Ramanujam & D.Venkateswarlu : Powder Tech. Vol.3, (1969/70)92.
k_1, k_2	(6), (7)式における定数〔-〕	12) J.M.Dotson : Ind. Eng. Chem. Vol.54, (1962)62.
m	粒子の質量〔g〕	13) 本間寅二郎: 日鉱誌, Vol.85, (1969)838.
P	粉砕確率〔-〕	14) H.Rumpf : Chemie. Ing. Tech. Vol.32, (1960)129.
P_c	粒子相互の衝突または接触確率〔-〕	15) 田中達夫: Mol.6, (1968)40.
P_σ	粒子の破壊確率〔-〕	16) 横堀武夫: 材料強度学, 技報堂, (1955)74.
P_1	粒子の接触確率〔-〕	17) A.Griffith : 1st Interl. Congr. App. Delft. Holland. (1924)55.
P_2	粒子の衝突確率〔-〕	18) B.Schardin : Glastechn. Berichte, Vol.23, (1950)67.
p	ノズル圧〔Kg/cm ² 〕	19) 八嶋三郎 他: 日鉱講演要旨集, (1969)222.
P_{\min}	粉砕最小ノズル圧〔Kg/cm ² 〕	20) 本間寅二郎, 鈴木孝太郎: 高速気流粉砕によるラテライトからクロム鉱物を選別する方法, 特許第1071751号. 昭和56年.
S_0	粒子の飛距離〔mm〕	21) 森川薫淳: 日鉱関東支部, 記念講演資料, (1969).
ν	粒子の衝突相対速度〔m/s〕	22) 本間寅二郎, 鈴木孝太郎: 高速気流超微粉砕による粘土鉱物からカオリン鉱物を選別する方法, 特許第930826号. 昭和53年.
ν_0	粒子の初速度〔m/s〕	23) 太田耕平 他: 岐阜県陶磁器試報告, (1967).
Y	ヤング率〔Kg/cm ² 〕	24) 土岐川白濁水処理に関する調査報告, 岐阜県陶磁器試報告, (1966).
α, β	(16), (17)式における定数〔-〕	
γ	粒子の固体表面エネルギー〔erg/cm ² 〕	
ϵ	ミル内粒子濃度〔-〕	
η	空気の粘度〔 $\frac{\text{dyne}\cdot\text{s}}{\text{cm}^2}$ 〕	
λ	粒子の平均自由行程〔 μm 〕	
ν	ポアソン比〔-〕	
ρ	粒子密度〔g/cm ³ 〕	
σ_a	粒子の固体強度〔Kg/cm ² 〕	
σ_m	衝突により粒子内に発生した応力〔Kg/cm ² 〕	

文献

- 1) C.E.Berry : Ind. Eng. Chem. Vol.38, (1946) 627.
- 2) J.H.Perry : Chem. Enger. Hand book, McG raw-Hill, (1963)8~12.
- 3) 亀井三郎: 化学機械の理論と計算, 産業図書, (1959)418.
- 4) H.Rumpf : Chemie. Ing. Tech. Vol.32, (1960)129.
- 5) H.Rumpf : Chemie. Ing. Tech. Vol.32,